

⑩ 諏訪の軟弱地盤

吉江 匡*、宮坂 義人**

YOSHIE Tadashi*、MIYASAKA Yoshito**、野寺基礎工業(株) 長野県諏訪市四賀 1907

1. はじめに

諏訪盆地は本州のほぼ中央に位置し、諏訪湖を中心に北西-南東方向に広がる盆地である。諏訪湖の標高は760mで、高所の盆地であるため寒暖の差が大きい。冬季には諏訪湖が凍結して御神渡り（おみわたり）と呼ばれる湖面の氷のせり上がり現象が見られる事がある。

諏訪という地名から温泉や諏訪湖の花火大会、7年毎に行われる諏訪大社御柱祭などが一般的には連想されると思うが、我々地盤業務に携わる者は軟弱地盤や地盤沈下といった言葉が先に思い浮かぶのではないだろうか。

本稿では腐植土が卓越した諏訪の軟弱地盤について紹介する。

2. 盆地の形成

諏訪盆地はフォッサマグナの西縁、中央構造線と糸魚川-静岡構造線が交差する地点に位置しており、糸魚川-静岡構造線の断層運動によって地盤が陥没した構造盆地である。（図-1）

糸魚川-静岡構造線は諏訪周辺で諏訪湖北岸断層群と諏訪湖南岸断層群に分かれており、それぞれの断層運動によって中央構造線は旧長谷村から杖突峠付近を通ったあと茅野市内で切られて12kmほど左へ横ずれして岡谷市の横河川上流へ移動している。（図-2）

諏訪盆地は断層群の間に生じた地溝帯に土砂が流入して出来たものであり、周囲16kmの諏訪湖も砂泥で埋め立てられて現在の水深は約7m程である。

地震調査研究推進本部の糸魚川-静岡構造線断層帯の長期評価（第二版）によると、糸魚川-静岡構造線の断層運動は、諏訪湖北岸断層群を含む中南部区間において5～6m/千年程度（左横ずれ）、2～3m/千年程度（上下）、諏訪湖南岸断層群を含む中北部区間においては9m/千年程度（左横ずれ）、1～2m/千年程度（上下）とされている。地盤が千年で9mずれたと考えた場合、諏訪盆地が形成されるのに130万年程かかった事になる。

活発な断層運動によって盆地底の沈降と土砂の堆積が繰り返され、現在の盆地中央部の堆積層の厚さは350～400m前後あると言われている。（図-3）

諏訪盆地における土砂の堆積速度は異常に早く、沖積層の厚さは15～40mに達する。更に地表から5m～15m程

は圧密未了であると考えられ、5～20mm/年程度の地盤沈下が現在も継続している。

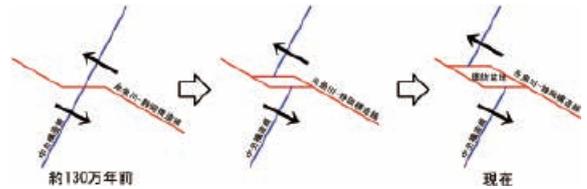


図-1 構造盆地の模式図

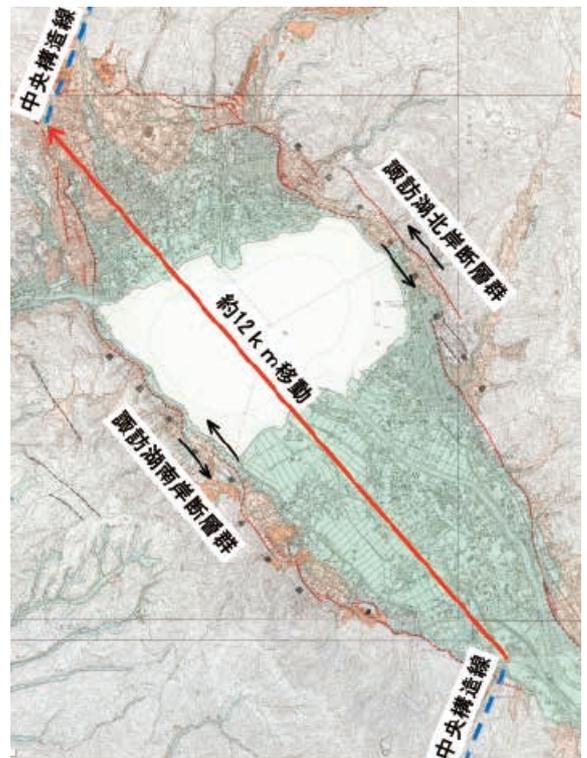


図-2 都市圏活断層図（一部加筆）

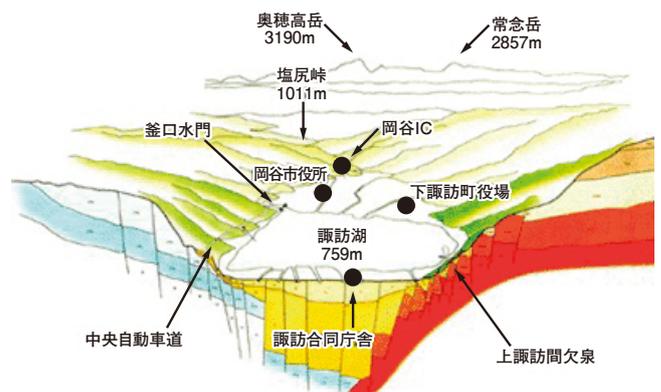


図-3 諏訪盆地の断面

3. 湖底堆積物と腐植土

諏訪湖の北西側は湖へ流入する砥川や横河川などから豊富な土砂が運搬されて、複合扇状地とこれらを浸食した段丘地形を形成しているが、宮川や上川などが流入する湖の南東側は低平な氾濫平野であり、極軟弱地盤と評されるのは主にこの地域である。

構造湖である諏訪湖は盆地の沈降に伴ってその大きさを変化させながら、湖底では主に泥や砂が厚く堆積し、その周囲には葦（ヨシ）や茅（カヤ）などの植物が堆積して腐植土となる。地元ではスクモと呼ばれているこの腐植土は繊維状の泥炭で含水比は150～600%程で、局所的にはそれ以上の値も示す。（写真-1）

砂泥から成る厚い堆積層と腐植土は、地下水位の低下や上載荷重の増加によって急激な沈下現象を引き起こす原因となる。



写真-1 腐植土（スクモ）

4. 盆地の異常沈下現象

諏訪湖から南東に約5kmにある諏訪IC付近の標高は763m程で、諏訪湖との差は僅か3m程である。この低平な氾濫低地の地下水位は概ね1.0m以浅にあり、諏訪湖の静水面によって保持されている。他の軟弱地盤と同様に地下水位が低下すると浮力が減少して広範囲で地盤沈下が生じる事になる。

古くから大雨の度に氾濫を繰り返してきた諏訪湖の治水と耕地拡大のために、江戸時代から昭和初期にかけて唯一の流出河川である天竜川の河床掘り下げ工事が行われた。この工事によって湖水面が低下し、その後の水路の整備によって盆地の地下水位も低下した。

高度成長期に入ると大規模な造成工事や浅い温泉井の過剰揚水などによって局所的な異常沈下現象が生じ、諏訪市街地では累積で3m以上の沈下が生じたとも伝えられている。（写真-2）



写真-2 地盤沈下が著しい国道20号線（諏訪市四賀）

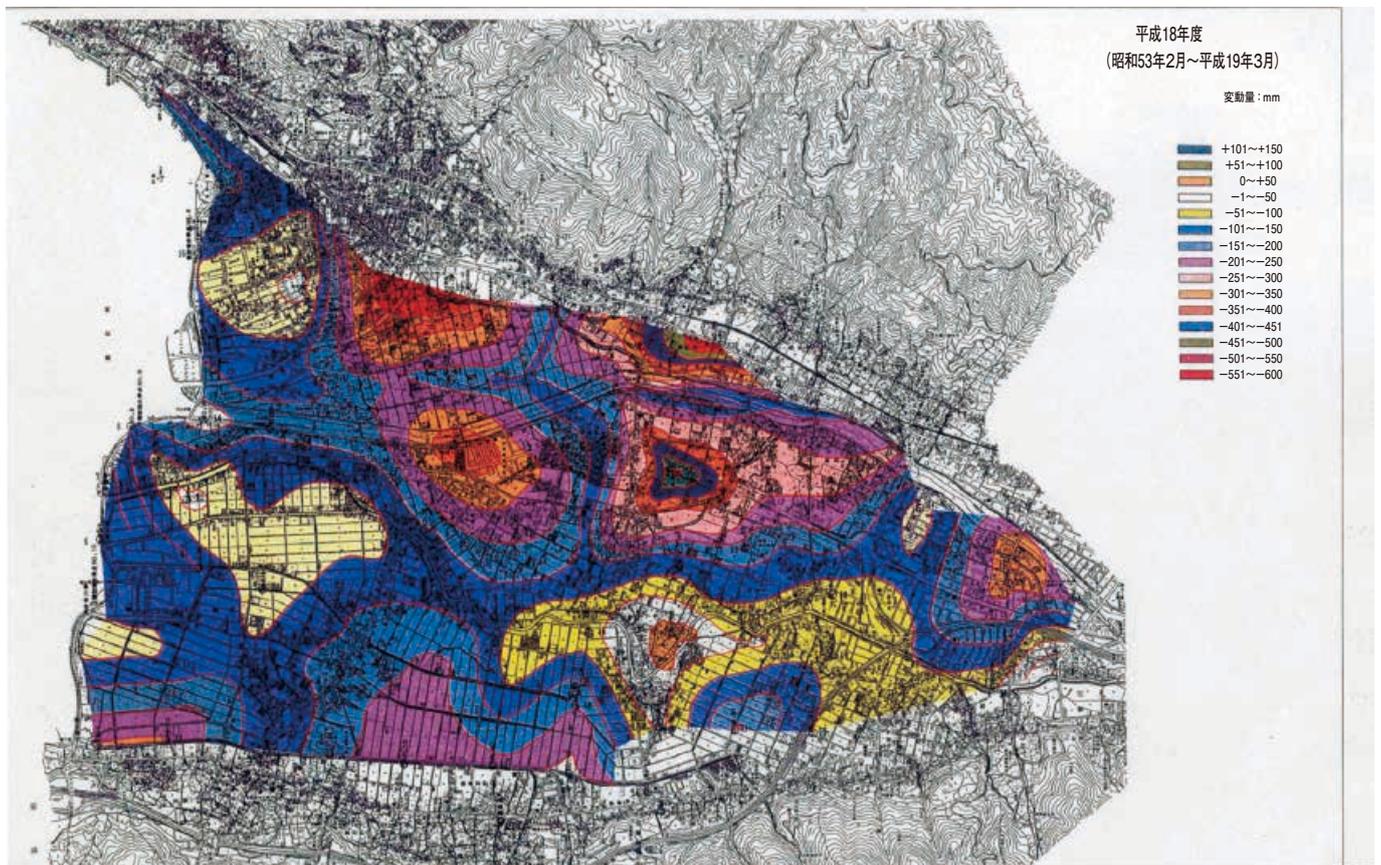


図-4 県の水準点測量

昭和63年に新しい釜口水門が完成し、温泉統合によって多くの浅井戸が消滅した事で湖面と地下の水位が安定し、かつての異常沈下現象は終息に向かっているが、長野県建設部による水準点測量によると昭和53年から平成19年の間に最大で57cmの地盤沈下が生じている。(図-4)



写真-3 片倉館



写真-4 片倉館の杭図面

5. 古くからの軟弱地盤対策工

諏訪地方には古くから軟弱地盤の対策工として、松丸太を用いたいかだ工法と杭打ち工法がある。

いかだ工法は松丸太を並べていかだを組んだ上に基礎をつくる浮基礎工法の一つであり、古くは諏訪の浮城と言われた高島城の石垣に採用されている。

しかしながら地下水水位の変動で水位より上の丸太が腐食してしまったり、いかだの埋戻し部分の締固め不足で沈下が生じてしまうケースもあったようである。

杭打ち工法は平成10年頃まで多く採用されていた松丸太の打撃工法であり、諏訪湖畔に昭和3年に竣工された国重要文化財の片倉館(写真-3)の基礎には末口180mm、長さ5.5mの松丸太が60cm間隔で約2600本打ち込まれている。(写真-4) 当時は打ち込みに櫓を使用して300kgの錘を2.4mの落差で松丸太の打ち込みを行っていた。

昭和19年に発生した東南海地震で諏訪は震度6を記録し、諏訪湖畔の工場が相次いで倒壊したが、片倉館は地震に耐え、80年以上経った現在も洋風建築の温泉施設として利用されている。

元口寸法は250mm以上になるであろう松丸太を密に打ち込む杭打ち工法は、東京駅丸の内駅舎を支えた松杭工法にならったものであり、打撃工法による軟弱地盤の締固め効果は絶大であると思われるが、打撃時の振動が大きいため現在では施工が難しい。

浮基礎と杭基礎は材料や形を変えながら現在でも施工され続けている。

6. 住宅地盤の評価と対策工

軟弱地盤で住宅建築を計画する際に最も重要なのは将来の沈下量(不同沈下量)を予測する事と、その沈下量をいかに低減させるかである。諏訪盆地における軟弱層の平面的な分布は盆地南東の広範囲に及ぶが、腐植物の分解の程度や堆積する厚さは場所によって大きく異なり、故に沈下量もそれに依りて差が見られる。要するにどこにあるかわからない落とし穴を恐れながら歩いている状態である。スウェーデン調査でこのような腐植土の分布状況を正確に把握する事はおそらく不可能であり(図-5)、腐植物を多く含む土層の方がWswやNswの値が大きくなる傾向すらある。

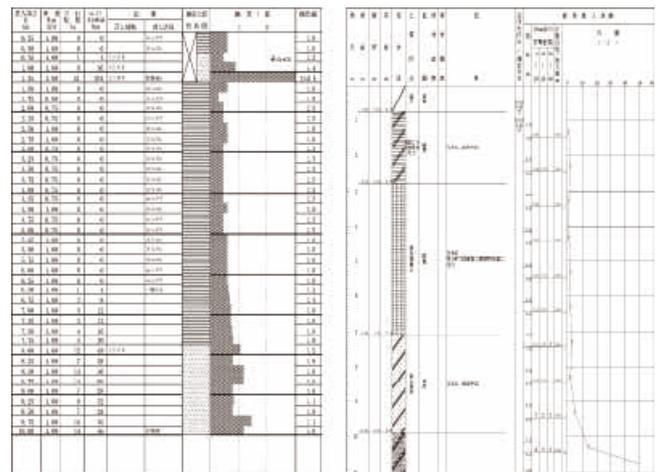


図-5 腐植土のN値

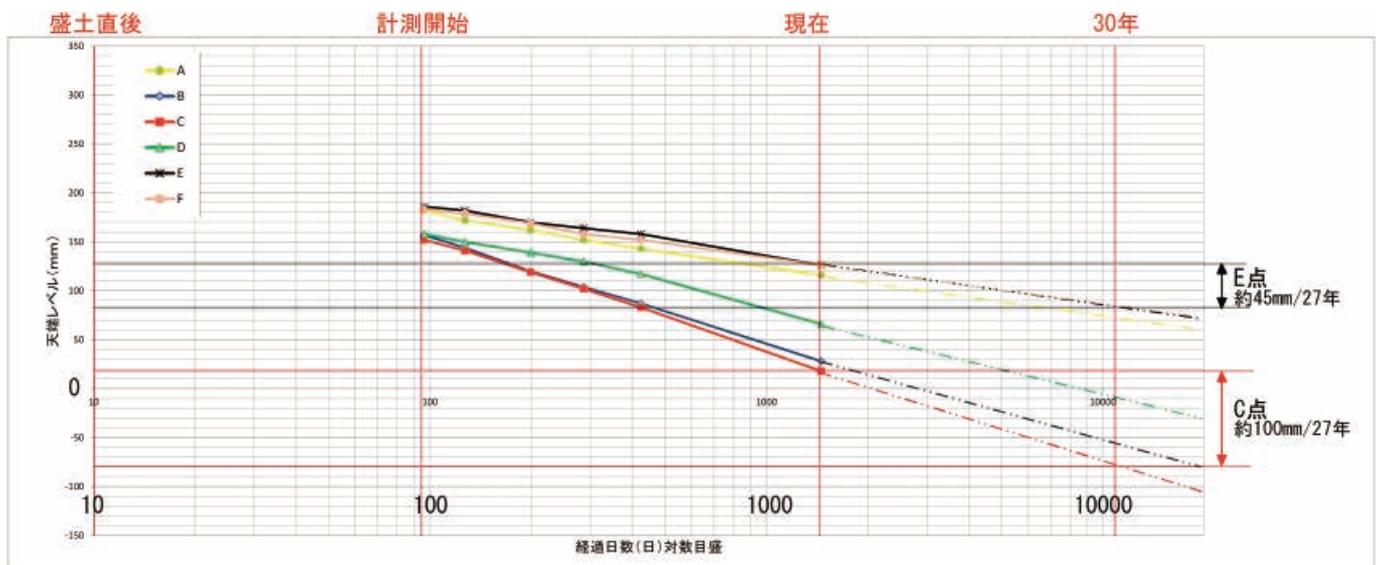


図-6 簡易動態観測例

最近では調査孔を利用した土質サンプリングや、土質の判定を目的とした新しい調査方法も提案されているが、多くの地盤技術者がスウェーデン調査の W_{sw} や N_{sw} の値と、ボーリングデータや土地条件図などの既存資料の情報に頼って基礎の判定や補強計画を行っているのが現状である。しかしながら個別の宅盤の安全性を評価するための調査実務においては現地踏査（ロケーション）がやはり重要であり、沈下が生じやすい軟弱地盤では、擁壁の変位量や杭基礎構造物の抜け上がり量などを計測した地盤沈下に直結した情報はスウェーデン調査の結果以上に有益な情報と言えるだろう。水田などに盛土を行った数区画の造成地で擁壁や側溝などのレベルを測量してその変位を確認すると、明らかに腐植土が厚く分布していると考えられる土地では50～60cm程度の盛土でも1ヶ月で10mm以上の沈下が生じ、それが数ヶ月継続する場合もある。盛土直後はその土地の沈下特性を評価する上で非常に重要な時期であり、数回の動態観測で数十年後の沈下量を予測できるケースもある（図-6）。SS調査結果に土質定数を設定して沈下量を推定する方法よりはるかに正確で実際の地盤状況に即している事を特筆しておく。

現在、諏訪における住宅建築の対策工としては杭状地盤補強が多く採用されているが、極軟弱地盤においてはどのような工法を採用したとしてもメリットデメリットが発生する。浅い部分の対策であれば低コストな反面沈下のリスクを多く残すことになり、深い部分までの対策であれば沈下に対しては安全な反面高コストになり、抜け上がり等の不具合が発生する可能性があるからである（写真-5）。



写真-5 抜け上がり現象

軟弱地盤上における住宅の地盤補強の設計はこの両極端の間のバランスを考えながら、中間線上のどこに位置させるかという作業であると言っても良い。この際に盛土荷重の有無とそれによる圧密沈下が進行中であるかどうかの判断は決定的に大きな要因であり、支持杭の採用しか選択肢が無くなる場合もある。またセメント系の改良の場合は配合

試験を行ったり、添加量を大きくし F_c を小さくするような配慮も必要である。ちなみに下部の地盤とは関係無しに宙に浮いているとしか思えない工法や、圧密沈下を促進しているとしか思えない工法の採用には細心の注意が必要である。

7. おわりに

軟弱地盤で住宅の不同沈下の原因となっているのは盛土の中央部への引き込みや、隣地の盛土荷重などによって引き込まれたものが殆どである。

スウェーデン調査などの簡易的な地盤調査で将来の沈下量を予測する事は非常に難しいが、敷地や周辺の状況を良く観察する事でその土地の沈下リスクの大小は判断出来る。更に数回の動態観測を行えば定量的なデータに基づいた沈下傾向も把握出来る。

問題はこれらの情報取得の是非が地盤調査会社の技術レベルや調査員のロケーション能力、売主やビルダーの理解等に依存している点である。宅盤において圧密沈下に対する評価は統一した手法が定まっていないため、判定者によって非常にばらつきが大きい。さらに情報量に乏しい判定者ほど危険側の判定や設計を行う傾向があり、これをコストダウンと履き違えるビルダーも多い。

最近何かと騒がしい地盤業界であるが、我々が行っているのは日本が世界に誇る「ものづくり」の最たるものであり、そのことを我々はもう一度銘記する必要があると考える。

参考文献

- 1) 小規模建築物基礎設計指針
日本建築学会
- 2) 諏訪地方地盤図 1987
(社)長野県建築士会諏訪支部、(社)長野県建築設計事務所協会諏訪支部
- 3) 信州の活断層を歩く
信濃毎日新聞社
- 4) 糸魚川-静岡構造線断層帯の長期評価（第二版）
地震調査研究推進本部 地震調査委員会
- 5) 諏訪湖周辺の軟弱地盤地域における住宅用基礎の設計・施工ガイドライン
(財)長野県建築住宅センター